Introdução ao Processamento de Imagem Digital (MO443/MC920)

Prof. Alexandre Xavier Falcão

Segundo semestre de 2003

1 Crescimento de regiões

Considere uma imagem $\hat{I} = (D_I, I)$ com k objetos $\{O_1, O_2, \ldots, O_k\}$, $\cap_{i=1}^{k} O_i = \emptyset$. Podemos assumir um conjunto S_i de pixels sementes selecionados em cada objeto e um rótulo $i = 1, 2, \ldots, k$ por objeto. Esta seleção pode ser automática, baseada em algum conhecimento *a priori*, ou manual. A idéia é crescer regiões conexas às sementes por agregamento de pixels adjacentes até que essas regiões definam os objetos. Assume-se certa homogeneidade no interior dos objetos. Este crescimento de regiões pode ser feito com ou sem competição entre as sementes.

1.1 Crescimento de regiões sem competição entre sementes

Nesta abordagem consideramos os objetos O_i como de interesse e separados dos pixels que constituem o fundo da imagem, $\cup_{i=1}^{k} O_i \subset D_I$. Um algoritmo simples é apresentado abaixo.

Algoritmo de crescimento de regiões sem competição entre sementes:

Entrada: Imagem cinza $\hat{I} = (D_I, I)$, conjuntos S_i, $i = 1, \ldots, k$, de sementes, relação de adjacência A, e função $f : D_I \rightarrow \{verdadeiro, falso\}$ que estabelece um critério de parada.
Saída: Imagem rotulada $\hat{L} = (D_I, L)$, onde $L(p) = i$ se $p \in O_i$, e $L(p) = 0$ se p pertence ao fundo.
Auxiliar: Conjunto Q.

1. Para todo pixel $p \in D_I$, se $p \in S_i$ então faça $L(p) \leftarrow i$ e insira p em Q. No caso contrário, faça $L(p) \leftarrow 0$.
2. Enquanto $Q \neq \emptyset$ faça
3.   Remova p de Q.
4.   Para todo $q \in A(p)$, tal que $L(q) = 0$, faça

5. Se $f(q) = falso$ então faça $L(q) \leftarrow L(p)$ e insira q em Q.

Poderíamos usar, por exemplo, $f(q) = false$ se $T_1 \leq I(q) \leq T_2$ para limiares $T_1 < T_2$, e verdadeiro no caso contrário. Poderíamos ainda adotar limiares diferentes por objeto. Uma desvantagem é que o critério para decidir se um pixel pertence a um dado objeto é local, dependendo apenas das propriedades do pixel ou de uma vizinhança do pixel. Uma abordagem mais interessante é definir uma força de conectividade de p com relação a um dado objeto O_i como o custo de um caminho ótimo do conjunto S_i até p. Por ser ótimo, o algoritmo deve considerar todos os possíveis caminhos de S_i até p em D_I, e portanto, as propriedades de seus pixels. Se esta força de conectividade for maior que um dado limiar T_i, então dizemos que $p \in O_i$. Esta abordagem é também conhecida como conectividade *fuzzy*-absoluta e pode ser implementada por uma IFT com função de custo de caminho f_{afuz} (complementar de força de conectividade), por exemplo:

$$
\begin{aligned}
f_{afuz}(\langle q \rangle) &= 0, \text{ se } q \in S_i, \text{ ou } +\infty \text{ no caso contrário.} \\
f_{afuz}(\pi \cdot \langle p, q \rangle) &= \begin{cases} \max\{f_{afuz}(\pi), w(p,q)\}, & \text{se } f_{afuz}(\pi \cdot \langle p, q \rangle) \leq T_i, \text{ e} \\ +\infty, & \text{no caso contrário.} \end{cases}
\end{aligned} \tag{1}
$$

onde $w(p,q) = K * (1 - \alpha_i(p,q))$ é o complemento da afinidade entre a aresta (p,q) e o objeto O_i,

$$
\alpha_i(p,q) = \exp\left[\frac{-(\frac{I(p)+I(q)}{2} - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right], \tag{2}
$$

K é o valor máximo de I, (μ_i, σ_i) são média e desvio padrão das intensidades de pixel no objeto i.

Observe que se o objeto O_i for uma bacia em I, podemos calcular a reconstrução superior local usando uma IFT com função de custo f_{lrec} e única semente em S_i.

$$
\begin{aligned}
f_{lrec}(\langle q \rangle) &= h(q) > I(q), \text{ se } q \in S_i, \text{ e } +\infty \text{ no caso contrário,} \\
f_{lrec}(\pi \cdot \langle p, q \rangle) &= \begin{cases} f_{lrec}(\pi), & \text{se } I(p) > I(q), \\ +\infty, & \text{no caso contrário.} \end{cases}
\end{aligned} \tag{3}
$$

Neste caso, o crescimento de regiões tem como critério de parada $I(p) \leq I(q)$.

Uma questão a ser considerada é que um dado pixel pode satisfazer os critérios de similaridade de mais de um objeto. No algoritmo simples acima, uma vez rotulado um pixel p como pertencente a um dado objeto O_i, esta decisão não pode mais ser mudada. Mesmo que p tenha propriedades mais similares as de outro objeto O_j, $j \neq i$, cuja semente só chegou até p depois. Na abordagem *fuzzy*-absoluta, os pixels são avaliados por ordem decrescente de conectividade (e.g. usando a fila Q de prioridade da IFT) e se dois caminhos provenientes de S_i e S_j, $i \neq j$, chegarem a um mesmo pixel com o mesmo custo, o desempate pode adotar política $FIFO$, por exemplo. Esses casos, porém, configuram uma competição entre as sementes, mesmo entre aquelas que pertencem a um mesmo objeto. Isto nos permite, também, eliminar o limiar de conectividade T_i com os objetos, fazendo com que o critério de parada seja substituído pelo choque entre as regiões.

1.2 Crescimento de regiões com competição entre sementes

Considere agora $k+1$ objetos $\{O_0, O_1, O_2, \ldots, O_k\}$, $\cap_{i=0}^{k} O_i = \emptyset$, incluindo o fundo O_0, com um conjunto de sementes S_i em cada um deles. Isto é, $\cup_{i=0}^{k} O_i = D_I$. Um pixel p deve ser atribuído ao objeto cuja conectividade com p é máxima. Esta abordagem é denominada conectividade *fuzzy*-relativa e para que os resultados teóricos sejam garantidos, o método original requer um valor de afinidade único para qualquer aresta do grafo, independente do objeto mais afim. Esta restrição pode ser traduzida em uma função de custo de caminho suave no contexto da IFT. Por exemplo:

$$\begin{aligned} f_{rfuz}(\langle q \rangle) &= 0, \text{ se } q \in S = \cup_{i=0}^{k} S_i, \text{ ou } +\infty \text{ no caso contrário.} \\ f_{rfuz}(\pi \cdot \langle p, q \rangle) &= \max\{f_{rfuz}(\pi), w(p,q)\}, \end{aligned} \tag{4}$$

onde $w(p,q) = K * (1 - \alpha(p,q))$ é o complemento da afinidade máxima entre a aresta (p,q) e os objetos $\{O_0, O_1, \ldots, O_k\}$,

$$\alpha(p,q) = \max_{i=0,1,\ldots,k} \{\alpha_i(p,q)\}, \tag{5}$$

onde $\alpha_i(p,q)$ é dada pela Equação 2.

Outro exemplo de crescimento de regiões com competição entre sementes é a transformada de watershed. Ela se aplica quando os objetos são delimitados por elevações mais altas do que as elevações internas e externas. A implementação por uma IFT pode usar, por exemplo, a função f_{peak} com imposição de sementes.

$$\begin{aligned} f_{peak}(\langle q \rangle) &= 0, \text{ se } q \in S = \cup_{i=0}^{k} S_i, \text{ ou } +\infty \text{ no caso contrário.} \\ f_{peak}(\pi \cdot \langle p, q \rangle) &= \max\{f_{peak}(\pi), I(q)\}. \end{aligned} \tag{6}$$

Lembre-se que em todos exemplos com e sem competição de sementes que usam a IFT, o resultado da segmentação é obtido do mapa de rótulos L.

2 Exercícios

1. Apresente outros critérios de parada para o algoritmo simples de crescimento de regiões sem competição de sementes.

2. Apresente outras funções de custo de caminho suaves que possam ser utilizadas nos métodos baseados em conectividade *fuzzy*.

3. Verifique se a função de custo de caminho abaixo é suave.

$$\begin{aligned} f(\langle q \rangle) &= 0, \text{ se } q \in S = \cup_{i=0}^{k} S_i, \text{ ou } +\infty \text{ no caso contrário.} \\ f(\pi \cdot \langle p, q \rangle) &= \begin{cases} \max\{f(\pi), 1 - \alpha_i(p,q)\}, & \text{se } L(p) = i, \\ 1, & \text{no caso contrário.} \end{cases} \end{aligned} \tag{7}$$